

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
15 juillet 2004 (15.07.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2004/059831 A1

(51) Classification internationale des brevets⁷ : H03B 5/18,
H01P 7/10

(74) Mandataires : CHAVERNEFF, Vladimir etc.; THALES
Intellectual Property, 31-33, avenue Aristide Briand,
F-94117 ARCUEIL Cedex (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2003/051014

(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,
DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH,
GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC,
LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,
MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(22) Date de dépôt international :
15 décembre 2003 (15.12.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
02/16903 31 décembre 2002 (31.12.2002) FR

(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (BW, GH, GM,
KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet
eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,
TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US)
: THALES [FR/FR]; 45, rue de Villiers, F-92200
NEUILLY-SUR-SEINE (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : MAGE,
Jean-Claude [FR/FR]; THALES Intellectual Property,
31-33, avenue Aristide Briand, F-94117 ARCUEIL Cedex
(FR). MARCILHAC, Bruno [FR/FR]; THALES Intel-
lectual Property, 31-33, avenue Aristide Briand, F-94117
ARCUEIL Cedex (FR).

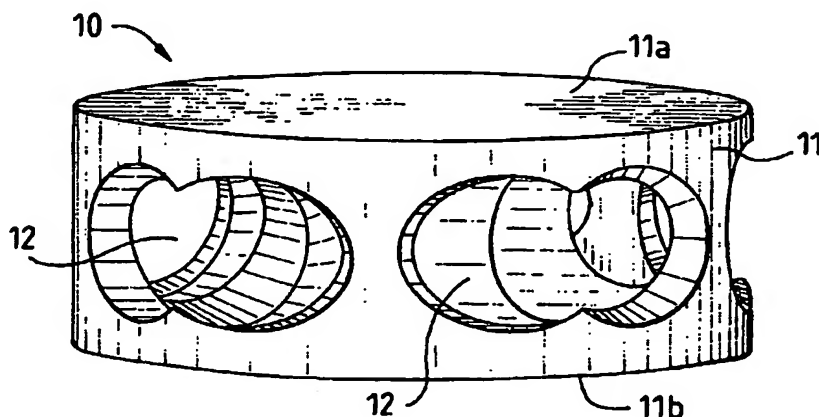
Publiée :

— avec rapport de recherche internationale
— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des
revendications, sera republiée si des modifications sont re-
çues

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: HYPERFREQUENCY OSCILLATOR WITH VERY HIGH STABILITY

(54) Titre : OSCILLATEUR HYPERFREQUENCES A TRES HAUTE STABILITE



(57) Abstract: The invention relates to an oscillator, characterised in comprising a monobloc dielectric resonator in the form of a straight cylindrical section, hollowed in the mid-section thereof along the chords of the straight section thereof, such as to leave a central core and two lateral faces. The hollows have a symmetry of order N with N = 4, at least the planar faces of the cylinder are covered with a superconducting material, the resonator being placed in a cryogenic bath and connected to an amplifier by optimum means. The resonator connection is made by means of magnetic field and phase loop.

(57) Abrégé : L'oscillateur de l'invention est caractérisé en ce qu'il comporte un résonateur diélectrique monobloc en forme de tronc droit de cylindre évidé à mi-hauteur selon des cordes de sa section droite, de façon à laisser subsister un noyau central et deux joues latérales, les perçages étant à symétrie d'ordre N, avec N ≥ 4, au moins les faces planes du cylindre étant recouvertes d'un matériau supraconducteur, le résonateur étant disposé dans une enceinte cryogénique et étant relié à un amplificateur par des couplages optimisés, l'accord du résonateur se faisant par champ magnétique et boucle de phase.



En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

OSCILLATEUR HYPERFREQUENCES A TRES HAUTE STABILITE

La présente invention se rapporte à un oscillateur hyperfréquences à très haute stabilité.

5 La génération de signal pour les applications radar, télécommunications, références de fréquence (telles que les horloges atomiques Cs, Rb ...) ainsi que l'évolution des systèmes numériques requièrent des oscillateurs à très haute stabilité présentant un bruit de phase de plus en plus faible.

10 Un oscillateur est constitué de deux éléments principaux : un résonateur et un élément actif ou amplificateur. Le bruit de phase des oscillateurs est déterminé à la fois par le bruit basse fréquence, le bruit haute fréquence et les non linéarités de l'élément actif, le facteur de surtension Q du résonateur et le circuit de couplage entre oscillateur et
15 élément actif. Le bruit de phase des oscillateurs, exprimé dans le domaine fréquentiel, correspond dans le domaine temporel à la gigue des horloges qui détermine la précision ultime de tous les systèmes de traitement numérique du signal et, en premier lieu, des codeurs analogique/ numérique. L'évolution des systèmes analogiques et numériques, en particulier l'accroissement de
20 la vitesse et de la dynamique des convertisseurs analogique/ numérique passe par une diminution du bruit de phase des oscillateurs et de la gigue temporelle des horloges.

Actuellement, les oscillateurs de référence sont basés sur des résonateurs acoustiques à ondes de volume ou à ondes de surface. Ces
25 résonateurs sont limités, pour les plus performants d'entre eux, à des fréquences d'environ 1000 MHz (en technologie FBAR : « Film Bulk Acoustic Wave »). Outre leurs limitations technologiques (épaisseur des résonateurs), les résonateurs acoustiques respectent une loi physique fondamentale, selon laquelle le produit $Q \cdot f$ de la surtension maximale Q par la fréquence f de
30 fonctionnement est une caractéristique du matériau utilisé. Ce produit peut être évalué par la théorie des pertes acoustiques (interactions anharmoniques des phonons). Typiquement, ce produit est d'environ 10 THz.

La surtension des résonateurs de type FBAR est alors limitée à environ 10^4 pour une fréquence de fonctionnement de 1000 GHz.

Dans la pratique, il est nécessaire de générer des signaux à des fréquences très supérieures à 1 GHz. Il faut donc recourir à des dispositifs multiplicateurs de fréquence. Une telle opération dégrade le bruit de phase d'au moins $20 \log N$ pour un facteur de multiplication N , ce qui résulte d'une loi mathématique incontournable.

Pour atteindre les performances de stabilité requises par les synthétiseurs de fréquences du futur, il faut utiliser des résonateurs fonctionnant à des fréquences supérieures (afin d'éliminer le bruit dû à la multiplication) avec des facteurs de surtension supérieurs.

Les résonateurs électromagnétiques (cavités métalliques, résonateurs diélectriques,...) permettent de travailler directement à des fréquences de plusieurs GHz, mais leur facteur de qualité est limité. On obtient par exemple pour les résonateurs diélectriques classiques un produit $Q \cdot f$ de 200 THz, et pour les résonateurs à mode de galerie en saphir, à température ambiante, un produit $Q \cdot f$ de 2500 THz. Les valeurs des bruits de phase sont alors proches de celles des sources acoustiques multipliées : on obtient typiquement -120 dBc/Hz à quelques kHz de la porteuse pour les meilleurs oscillateurs.

La limite des oscillateurs actuels correspond à une résolution de mesure des codeurs analogique/ numérique de 8 bits de codage à une fréquence d'environ 1 GHz, ce qui entraîne une gigue de phase inférieure à 0,3 ps. Les systèmes envisagés actuellement nécessiteraient des codeurs à au moins 2 GHz à résolution de 10 bits, avec un bruit de phase inférieur à -150 dBc/Hz à une fréquence de modulation de 1 kHz. De telles performances ne peuvent être obtenues qu'avec des résonateurs à très forte surtension ($Q > 10^6$ à 10 GHz par exemple) associés à des structures d'oscillateurs permettant de préserver les qualités intrinsèques des résonateurs.

Actuellement, la seule solution connue pour augmenter le facteur de qualité Q comporte des oscillateurs à base de résonateurs électromagnétiques refroidis. L'association de résonateurs diélectriques refroidis et de couches supraconductrices permet de gagner deux ordres de grandeur sur les facteurs de qualité, soit, en théorie, un gain de 20 à 40 dBc/Hz pour le bruit de phase des oscillateurs. Cependant, dans la pratique, cette amélioration est occultée par la sensibilité des résonateurs aux vibrations et aux fluctuations thermiques.

La présente invention a pour objet un oscillateur hyperfréquences à très haute stabilité de référence, du type à résonateur, ce résonateur ne présentant qu'une sensibilité insignifiante aux vibrations et fluctuations thermiques.

L'oscillateur conforme à l'invention comporte un résonateur diélectrique monobloc en forme de tronc droit de cylindre évidé à mi-hauteur selon des cordes de sa section droite, de façon à laisser subsister un noyau central et deux joues latérales, les perçages étant à symétrie d'ordre N , avec $N \geq 4$, au moins les faces planes du cylindre étant recouvertes d'un matériau supraconducteur, le résonateur étant disposé dans une enceinte cryogénique et étant relié à un amplificateur par des couplages optimisés, l'accord du résonateur se faisant par champ magnétique et boucle de phase.

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée de plusieurs modes de réalisation, pris à titre d'exemples non limitatifs et illustrés par le dessin annexé, sur lequel :

- les figures 1 à 3 sont des vues en perspective de trois modes de réalisation différents d'un résonateur d'oscillateur conforme à l'invention,
- les figures 4 et 5 sont des schémas simplifiés de structures d'oscillateurs hyperfréquences à résonateur pouvant être utilisées par l'invention, et
- la figure 6 est un schéma simplifié d'un système cryogénique à triple enceinte utilisé par l'invention.

L'un des éléments essentiel d'un oscillateur hyperfréquences étant son résonateur, et la stabilité de ce résonateur étant affectée par des déformations mécaniques, l'invention prévoit de le réaliser de façon différente de la réalisation habituelle. La structure habituelle d'un résonateur connu comporte généralement une cavité en forme de tronc de cylindre fermé à ses deux extrémités par des parois planes en aluminate de lanthane revêtues sur une face d'un matériau supraconducteur monocristallin, par exemple en $Y_1Ba_2Cu_3O_7$ contenant le résonateur proprement dit avec son pied de maintien et de centrage en saphir et deux accès de couplage à la cavité. A cet effet, afin de minimiser la sensibilité des résonateurs aux déformations mécaniques, l'invention propose des solutions à plusieurs effets indésirables qui sont les suivants, dans les cas des résonateurs connus :

- Les variations de hauteur de la cavité du résonateur que l'invention minimise grâce à une structure de résonateur monobloc (monolithique) ,
- Les fluctuations de distance (à l'échelle du nanomètre) entre les couches supraconductrices déposées sur un substrat monocristallin formant les surfaces planes de la cavité, fluctuations qui sont également fortement diminuées grâce à la structure monobloc,
- La variation de la constante diélectrique sous l'effet de la déformation du résonateur.

La solution idéale serait de pouvoir déposer le matériau supraconducteur sur toutes les faces de la cavité du résonateur. Mais, comme il est impossible d'épitaxier un film supraconducteur de qualité à haute température critique sur des surfaces courbes, l'invention propose de réaliser un résonateur diélectrique monolithique, de forme générale en tronc de cylindre, évidé de façon appropriée, avec un dépôt direct des couches supraconductrices sur les deux faces planes de la cavité, avant leur usinage. Le champ électrique étant concentré sur le noyau central, la dégradation du facteur de qualité par les courants induits dans le reste de la structure du résonateur est minimisée. Le matériau constituant le résonateur est avantageusement du saphir monocristallin.

Selon un premier mode de réalisation de l'invention, représenté en figure 1, le corps 1 du résonateur est en forme de diabolito à symétrie de révolution autour de son axe. Ce corps comporte essentiellement deux joues

2, 3 en forme de disques reliées entre elles par un noyau central 4 formé intégralement avec elles. On dépose sur les faces planes 5, 6 des joues 2, 3 un film supraconducteur.

La structure 7 représentée en figure 2 est formée à partir d'un bloc
5 diélectrique 8 en forme de tronc droit de cylindre plein dans lequel on pratique quatre trous 9 dont les axes sont situés dans un plan perpendiculaire à l'axe du cylindre, à mi-distance entre les faces planes du tronc de cylindre. Les axes de ces trous suivent une symétrie d'ordre 4 par rapport à l'axe du cylindre, de façon à laisser subsister une grande partie de
10 la paroi cylindrique et un noyau central. Comme dans le cas de la structure précédente, on dépose sur les faces planes de la structure 7 un film supraconducteur 8a, 8b.

La structure 10 représentée en figure 3 est formée, comme celle de la figure 2, à partir d'un bloc diélectrique 11 en forme de tronc droit de cylindre
15 plein dans lequel on pratique cinq trous 12 dont les axes sont situés dans un plan perpendiculaire à l'axe du cylindre, à mi-distance entre les faces planes du tronc de cylindre. Les axes de ces trous suivent une symétrie d'ordre 5 par rapport à l'axe du cylindre, de façon à laisser subsister une grande partie de la paroi cylindrique et un noyau central. Cette structure est généralement
20 préférée à celle de la figure 2. Comme dans le cas des structures précédentes, on dépose sur les faces planes de la structure 10 un film supraconducteur 11a, 11b.

Les structures des figures 1 à 3 permettent d'atténuer très
fortement le bruit de phase entre 1 et 10 kHz, fréquences pour lesquelles il y
25 a coïncidence entre les longueurs d'onde acoustiques et les dimensions de la cavité du résonateur. Les valeurs prévues par la théorie de Leeson (selon laquelle les facteurs de qualité d'une cavité à couches supraconductrices peuvent être estimés par le point de remontée du bruit coloré au-dessus du plancher de bruit thermique) deviennent alors accessibles. Bien entendu, les
30 matériaux constituant ces structures doivent présenter de faibles pertes diélectriques et doivent être compatibles avec le dépôt des couches supraconductrices.

Ensuite, une approche théorique permet de déterminer les formes
appropriées de résonateurs, pour chaque valeur de constante diélectrique du
35 matériau constituant le résonateur proprement dit, formes pour lesquelles le

phénomène de compensation survient, c'est-à-dire le rapport diamètre/hauteur de la cavité pour lequel la variation de fréquence induite par un léger changement de la hauteur est égale et opposée à celle induite par le changement de diamètre résultant des équations de la mécanique.

- 5 En première approximation, la fréquence de résonance de la cavité peut être calculée dans la configuration décrite par Hakki & Coleman (voir : D. Maystre & al, IEEE MTT – 31, pp 844 à 848, Oct. 1983) par la relation :

$$k_{re} J_0(k_{re}r) / j_1(k_{re}r) = k_{r0} Z_0(k_{r0}r) / Z_1(k_{r0}r)$$

dans laquelle :

- 10
- j_1 est une fonction de Bessel de première espèce, d'ordre 1
 - Z_1 est une fonction de Bessel de deuxième espèce, d'ordre 1
 - $K_0^2 = k_z^2 + k_{r0}^2$
 - $k_e^2 = k_z^2 + k_{re}^2 = \varepsilon k_0^2$
 - $k_0 = 2\pi f/c$
- 15
- $k_z = \pi/h$
 - r = rayon du moyeu central
 - h = hauteur du résonateur
 - f = fréquence de résonance

r et h sont liés par le module d'Young et par le coefficient de Poisson.

- 20 Pour parfaire la compensation, il convient de prendre en compte la variation de la constante diélectrique ε sous l'effet des déformations mécaniques.

En première approximation, la dépendance de la constante ε vis-à-vis du volume V peut être déduite de l'équation de Clausius Mosotti :

25
$$(\varepsilon - 1) / (\varepsilon + 2) = N \alpha / V$$

avec N = nombre de molécules par unité de volume

α = polarisabilité d'une molécule

La variation de volume peut être calculée à partir du module de Young et du coefficient de Poisson.

- 30 Dans le cas général, il n'existe pas de solution analytique, car :
- la fréquence doit être déterminée, au cas par cas, par résolution numérique des équations de Maxwell,
 - r et h sont liés par les équations de Navier Stokes entre contraintes σ_{ij} et déformations e_{ij} via le tenseur d'élasticité C_{ij} .

- la variation du tenseur de permittivité ϵ_{ij} doit être calculée en fonction des déformations mécaniques e_{ij} .

La fréquence de résonance est une fonction du diamètre D du noyau central, de la hauteur h et de la permittivité ϵ . Les fluctuations df de fréquence liées aux dimensions de la cavité du résonateur sont données par :

$$Df = (\partial f / \partial D) * dD + (\partial f / \partial h) * dh$$

Il existe des valeurs des paramètres (ϵ , D, h) telles que l'on a $df=0$ au premier ordre pour une structure libre. Le choix des valeurs adéquates de ces paramètres permet de s'affranchir des déformations du résonateur et d'obtenir un bruit de phase proche de celui annoncé par la théorie de Leeson.

Selon une deuxième caractéristique importante de l'invention, on optimise la structure de l'oscillateur en tendant à remplir les exigences suivantes :

- Couplage adapté entre la sortie de l'amplificateur de l'oscillateur et l'entrée de la cavité. Pour un coefficient de couplage de 1, le facteur de surtension (ou : facteur de qualité) en charge de la cavité serait sensiblement égal à la moitié du facteur de surtension à vide.
- Couplage adapté entre la sortie de la cavité et l'entrée de l'amplificateur. Le coefficient de couplage correspondant est alors égal à l'inverse du gain de l'amplificateur.
- La boucle électrique comportant la cavité, l'amplificateur et leurs connexions de liaison doit avoir une longueur minimale (la cavité et l'amplificateur sont refroidis dans la même enceinte, comme décrit ci-dessous en référence à la figure 5). La longueur électrique est alors de 2π , à savoir π dû à l'amplificateur, $\pi/2$ dû au couplage d'entrée de la cavité et $\pi/2$ dû à son couplage de sortie.
- L'amplificateur doit être intégré dans l'enceinte refroidie de la cavité, comme précisé ci-dessus.
- L'amplificateur est, de préférence en technologie SiGe et refroidi à très basse température (température critique des couches supraconductrices de la cavité). Il présente alors un

très faible bruit (variant comme l'inverse de la fréquence de travail).

- Le circuit de couplage entre amplificateur et cavité devrait inclure un dispositif de réglage de phase par varactor.
- Asservissement de la phase totale de la boucle d'oscillation pour obtenir un fonctionnement en un point optimal pour lequel la dérivée de la phase par rapport à la fréquence est maximale.
- La sortie du signal de l'oscillateur se fait, de préférence, sur un troisième port de la cavité, comme décrit ci-dessous en référence à la figure 5. Cette caractéristique garantit un plancher de bruit à -180 dBm/hz en prélevant un signal filtré par le résonateur lui-même. Cette solution est avantageuse dès que le facteur de qualité à vide de la cavité dépasse 10^6 . Il est alors possible de charger la cavité tout en gardant une valeur élevée pour le facteur de qualité en charge. Typiquement, on peut choisir le couplage de ce port de sortie tel que le facteur de qualité en charge reste nettement supérieur à $1/3$ du facteur de qualité à vide.

On a représenté en figure 4 une première possibilité de réalisation d'un oscillateur à cavité refroidie. La cavité 13 à couches supraconductrices est refroidie à très basse température, par exemple 77K, dans une enceinte 14. Elle est reliée par des câbles 15 ayant une impédance de 50 Ohms à un dispositif amplificateur 16 qui est à température ambiante (de l'ordre de 300 K). Le dispositif amplificateur 16 comporte de façon classique un circuit amplificateur 17 suivi d'un coupleur 18 et d'un isolateur 19, et il comporte deux déphaseurs accordables 20, 21 reliant les éléments 17 à 19 aux câbles 15. Ce mode de réalisation nécessite des câbles de liaison relativement longs (ils introduisent un déphasage de $2k\pi$, avec k très supérieur à 1). Les câbles ont un gradient de température élevé. Une de leurs extrémités étant à 72 K et l'autre à 300 K, ces câbles peuvent générer du bruit, et la stabilité de l'oscillateur n'est pas excellente.

Pour ces raisons, l'invention propose d'utiliser la structure de la figure 5. Dans cette structure, la cavité 22 et l'amplificateur 23 sont disposés dans la même enceinte 24 refroidie, à 77 K par exemple. L'amplificateur est relié à deux prises de couplage 25, 26 de la cavité par des liaisons très

courtes, ce qui fait que le déphasage de $2k\pi$ entre l'entrée et la sortie de la cavité est faible, k étant minimal. Il est à noter que la sortie 27 de signal se fait grâce à une troisième prise de couplage 28. L'amplificateur 23 peut avoir une topologie spécifique appropriée à son montage dans l'enceinte 24, au plus près de la cavité, et il est facile d'adapter les impédances de la cavité et de l'amplificateur. Cette structure ne comportant pas de déphaseurs accordables, le réglage fin du déphasage est moins facile à réaliser que dans le cas de la structure de la figure 4. Néanmoins, la structure préférée de l'invention est celle de la figure 5 du fait de ses nombreux avantages par rapport à celle de la figure 4.

Pour assurer à l'oscillateur un refroidissement efficace et stable, avec un minimum de vibrations, l'invention met en oeuvre une triple enceinte 29 telle que schématisée en figure 6. Cette triple enceinte comporte, de l'extérieur vers l'intérieur, une première enceinte sous vide 30, du type vase de Dewar, ayant un rôle d'isolation thermique, renfermant une deuxième enceinte 31 sous basse pression (1 Bar, à température ambiante, par exemple) remplie d'un gaz liquéfiable ou solidifiable à la température de fonctionnement (par exemple de l'azote ou de l'argon), cette deuxième enceinte renfermant la troisième enceinte 32, qui est un boîtier étanche contenant de l'hélium ou du néon à très basse température (par exemple 73K) et qui renferme l'oscillateur 33 de l'invention.

Dans la deuxième enceinte, on asservit la pression résiduelle du gaz pour assurer un contrôle précis de la température de l'enceinte 32 par évaporation et sublimation du gaz, qui se condense en une couche liquide ou solide à la surface externe du boîtier 32. Le gaz contenu dans l'enceinte 32 doit rester en phase gazeuse à la température qui règne dans cette enceinte, afin d'assurer l'homogénéité en température dans toute cette enceinte et d'éviter toute condensation sur les constituants de l'oscillateur (une condensation induirait des pertes dans les circuits et un décalage de fréquence). Le refroidissement dans l'enceinte 32 est assuré avec un minimum de vibrations, avantageusement par tube pulsé et circulation du gaz (hélium ou néon gazeux). On forme un pont thermique entre l'enceinte 32 et l'oscillateur à l'aide d'une tresse métallique souple, par exemple en cuivre. L'oscillateur est suspendu à l'intérieur du boîtier 32 par un système de suspension lui transmettant le minimum possible de vibrations. Ce système

10

**de suspension comporte par exemple, de façon connue en soi, des câbles
de suspension avec des ressorts et des masselottes anti-résonantes.**

5

10

REVENDICATIONS

- 5 1 Oscillateur hyperfréquences à très haute stabilité, caractérisé en ce qu'il comporte un résonateur diélectrique monobloc (1, 7, 10) en forme de tronc droit de cylindre évidé à mi-hauteur selon des cordes de sa section droite, de façon à laisser subsister un noyau central et deux joues latérales, les perçages étant à symétrie d'ordre N, avec $N \geq 4$, au moins les faces planes du cylindre étant recouvertes d'un matériau supraconducteur (5-6, 8a-8b, 11a-11b), le résonateur étant disposé dans une enceinte cryogénique (32) et étant relié à un amplificateur par des couplages optimisés, l'accord du résonateur se faisant par champ magnétique et boucle de phase.
- 10 2. Oscillateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le résonateur est disposé dans une triple enceinte comportant une première enceinte (30) à isolation sous vide, une deuxième enceinte (31) emplie d'un gaz liquéfiable ou solidifiable à la température de fonctionnement du résonateur, et une troisième enceinte (32) emplie d'un gaz restant gazeux à ladite température de fonctionnement.
- 15 3. Oscillateur selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'amplificateur (23) est disposé dans la même enceinte cryogénique que le résonateur.
- 20 4. Oscillateur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que, la cavité comportant deux prises de couplage (25, 26) permettant de la relier à l'amplificateur, la sortie de signal se fait sur une troisième prise de couplage de la cavité (28).
- 25 5. Oscillateur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le résonateur est en saphir monocristallin.
- 30
- 35

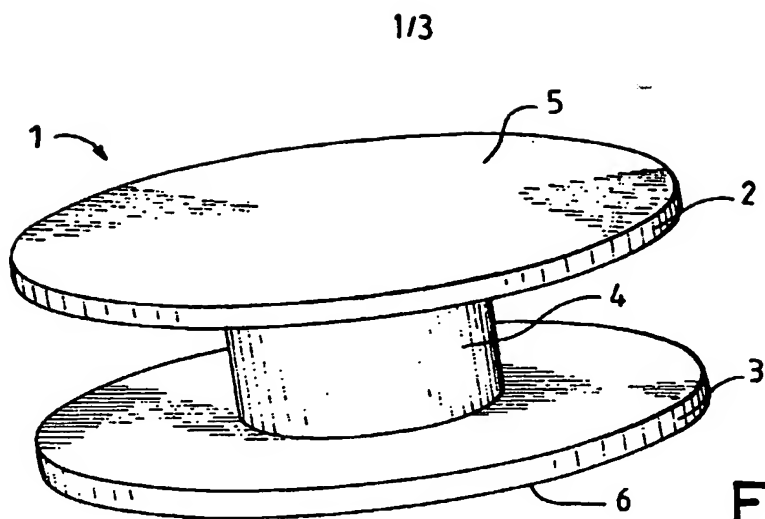


FIG.1

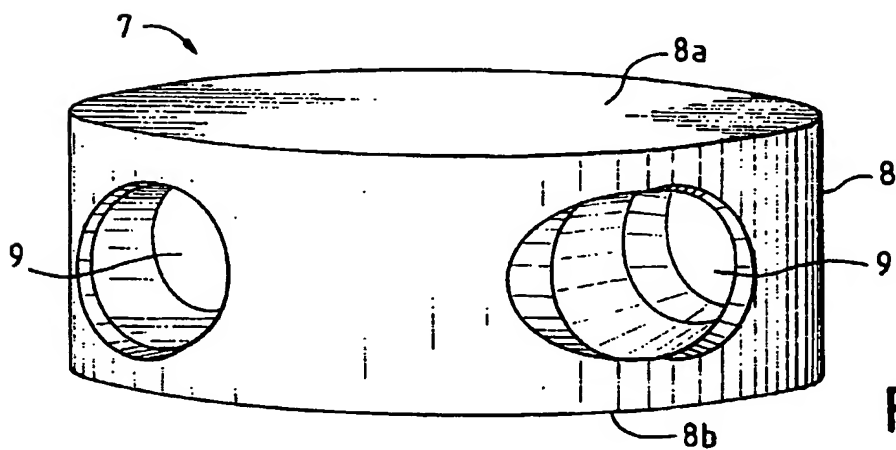


FIG.2

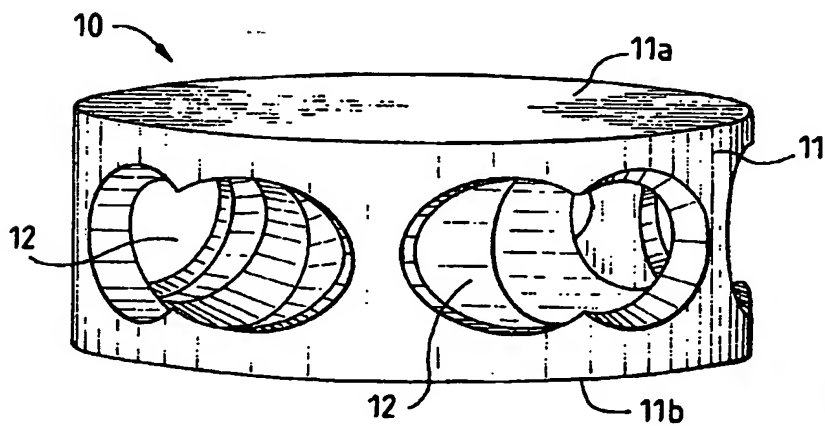


FIG.3

2/3

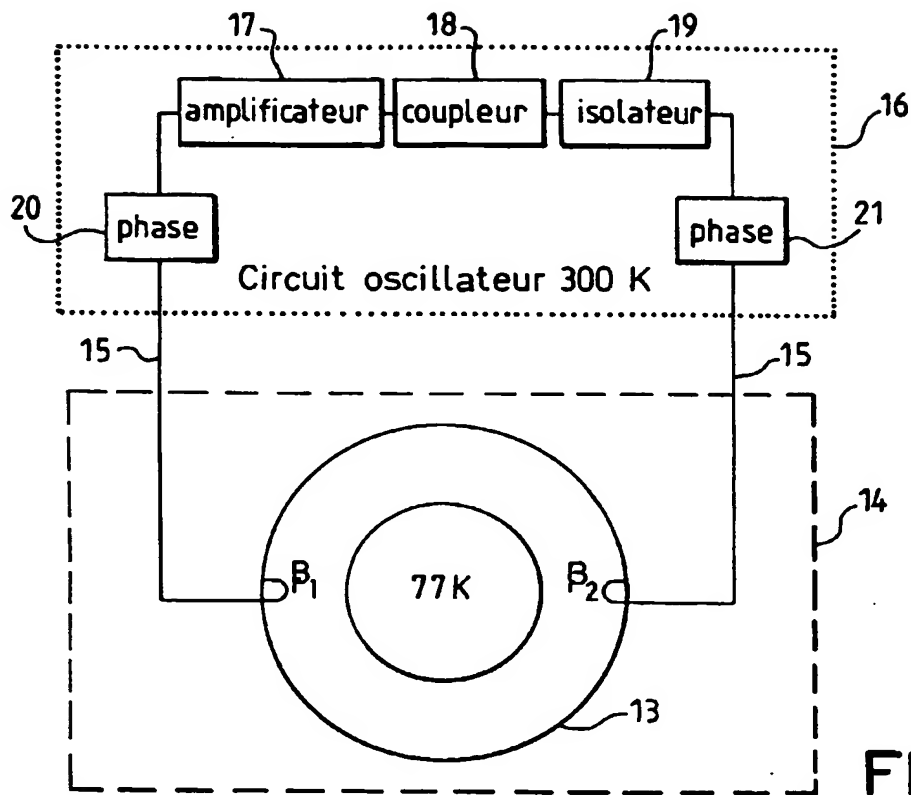


FIG.4

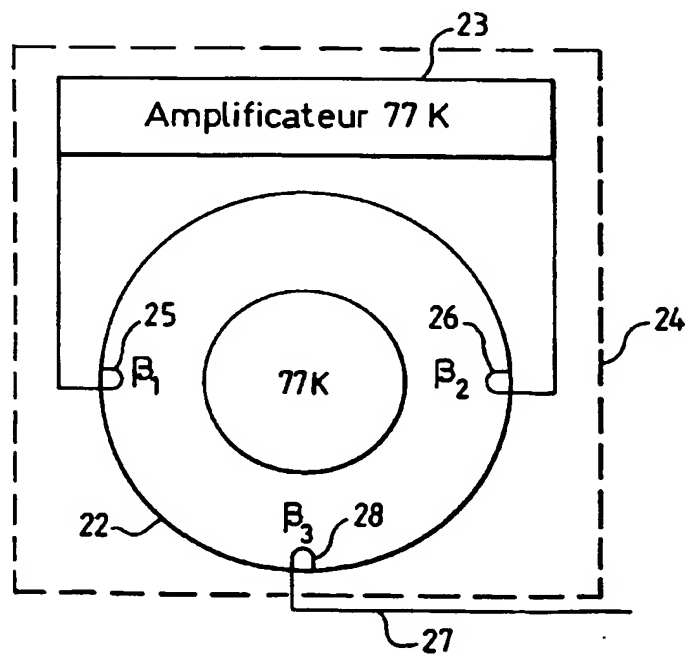


FIG.5

3/3

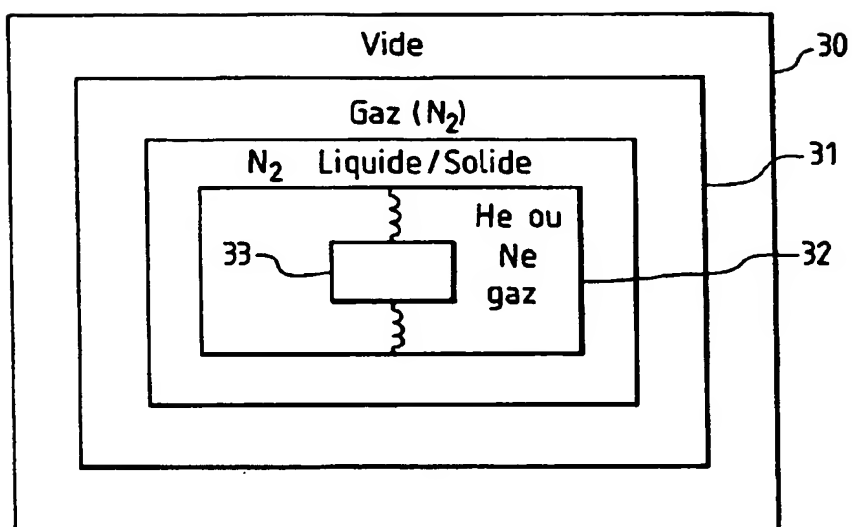


FIG.6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 03/51014

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H03B5/18 H01P7/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H03B H01P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SHEN Z-Y ET AL: "High Tc superconductor-sapphire microwave resonator with extremely high Q-values up to 90 K" MICROWAVE SYMPOSIUM DIGEST, 1992., IEEE MTT-S INTERNATIONAL ALBUQUERQUE, NM, USA 1-5 JUNE 1992, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 1 June 1992 (1992-06-01), pages 193-196, XP010062882 ISBN: 0-7803-0611-2 the whole document	1-5
A	US 5 909 160 A (DICK G JOHN ET AL) 1 June 1999 (1999-06-01) abstract; figure 3	1-5

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *8* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 May 2004

Date of mailing of the international search report

25/05/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Beasley-Suffolk, D

Information on patent family members

PCT/EP 03/51014

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (January 2004)

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No
PCT/EP 03/51014

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 H03B5/18 H01P7/10

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H03B H01P

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	SHEN Z-Y ET AL: "High Tc superconductor-sapphire microwave resonator with extremely high Q-values up to 90 K" MICROWAVE SYMPOSIUM DIGEST, 1992., IEEE MTT-S INTERNATIONAL ALBUQUERQUE, NM, USA 1-5 JUNE 1992, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 1 juin 1992 (1992-06-01), pages 193-196, XP010062882 ISBN: 0-7803-0611-2 le document en entier	1-5
A	US 5 909 160 A (DICK G JOHN ET AL) 1 juin 1999 (1999-06-01) abrégé; figure 3	1-5

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- *T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- *Z* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

13 mai 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

25/05/2004

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Beasley-Suffolk, D

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Document de Internationale No

PCT/EP 03/51014

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5909160	A	01-06-1999	AUCUN